

# Documentación 3D y visualización multimedia de la Cova del Parpalló (Gandia)

José Luis Lerma García, Miriam Cabrelles López, Santiago Navarro Tarín y Sergio Galcerá Ustero

Grupo de Investigación en Fotogrametría y Láser Escáner (GIFLE).  
Departamento de Ingeniería Cartográfica, Geodesia y Fotogrametría.  
Universidad Politécnica de Valencia. España

## Resumen

*La documentación tridimensional (3D) mediante la combinación de tecnologías de escaneado láser y de fotogrametría facilita el registro exhaustivo, la lectura correcta del objeto patrimonial y su análisis en aras de adoptar decisiones e intervenciones futuras acertadas, de un lado, y avanzar en la generación de réplicas animadas virtuales de gran valor divulgativo y de fácil difusión multimedia, de otro. El artículo presente aborda las fases de documentación gráfica y de visualización emprendidas en la Cova del Parpalló, Gandia, Valencia. Aparte de la documentación topográfica tradicional en base a planimetrías y altimetrías, se presenta la representación y animación volumétrica del conjunto paleolítico no solo a partir del juego de luces y sombras sino también a partir de modelos texturizados fotorrealísticos 3D.*

**Palabras Clave:** DOCUMENTACIÓN PATRIMONIO CULTURAL, LÁSER ESCÁNER TERRESTRE, MODELADO 3D, FOTOGRAMETRÍA, VISUALIZACIÓN

## Abstract

*The three-dimensional (3D) documentation by means of laser scanning and photogrammetry eases exhaustive recording, the right lecture of cultural heritage objects and its analysis in order to, on the one hand, adopt appropriate decisions and interventions, on the other hand, move forward the generation of virtual animated replicas of great value and smooth multimedia dissemination. The present paper tackles the different stages of graphic documentation and visualization undertaken in the Parpalló Cave (Cova del Parpalló), Gandia, Valencia. Besides traditional surveying documentation that is based on planimetric and altimetric maps, this paper presents the plotting and animated visualization of the Palaeolithic set not only making use of lights and shadows but also from photorealistic textured 3D models.*

**Key words:** CULTURAL HERITAGE DOCUMENTATION, TERRESTRIAL LASER SCANNING, 3D MODELLING, PHOTOGRAMMETRY, VISUALIZATION

## 1. Introducción

Este artículo presenta los trabajos de documentación métrica desarrollados en la Cova del Parpalló de Gandia (Fig. 1), utilizando técnicas fotogramétricas 3D y de escaneado láser terrestre. Al modelo tridimensional resultante de resolución elevada se le ha dotado de un juego de luces y sombras que resaltan la orografía particular de todo el conjunto de la cueva. Asimismo, se muestra el resultado de dotar de textura a una pequeña zona del modelo 3D que presenta un grabado paleolítico, en cuya figura central aparece la representación de un caballo.

Los modelos tridimensionales permiten, entre otros aspectos, documentar y analizar las formas y dimensiones con un grado de resolución muy elevado. Hoy en día existen dos técnicas principalmente que permiten generar modelos 3D de alta resolución y precisión: la fotogrametría digital y el escaneado láser (Biosca, 2007: 1). La fotogrametría es una técnica madura en la extracción de información 3D, a partir de la restitución estereoscópica o mediante técnicas automáticas de correlación. Estas imágenes no sólo proporcionan información geométrica,

sino también la textura de la superficie de los objetos representados. Esto es especialmente importante en la producción de modelos virtuales 3D (Alshwabkeh, 2004: 1).

La tecnología láser escáner es una alternativa eficiente a las técnicas tradicionales de captura métrica o, al menos, un complemento. La complejidad de las formas de los múltiples y variados yacimientos arqueológicos y monumentos arquitectónicos, el interés cultural y la valía de los mismos requiere una documentación con elevado nivel de detalle geométrico y de color. Por ello no es de extrañar que el escaneado 3D se utilice cada vez más en aplicaciones patrimoniales conforme se extiende el beneficio sin igual de su uso. A continuación se describe la metodología seguida en la documentación arqueológica de la Cova del Parpalló a partir de tecnología láser y fotogrametría digital.

## 2. Escaneado Láser Terrestre

LiDAR (*Light Detection and Ranging*) es el acrónimo más extendido para referirse al escaneado láser aéreo y terrestre. Centrándonos en el segundo grupo, podemos encontrar diferentes sistemas láser para abordar la digitalización 3D de toda clase de objetos terrestres; no existe un sistema que sea capaz de resolver la documentación de todo tipo de objetos y sitios. Generalizando el modus operandi de los sistemas láser, puede afirmarse que estos sistemas proporcionan a elevada velocidad y elevada resolución coordenadas espaciales (X, Y, Z) y valores de intensidad de los objetos reflejados. Algunos escáneres incluyen adicionalmente una cámara fotográfica digital o de vídeo que aporta la tripleta de colores rojo, verde y azul.

El procesado satisfactorio de los datos crudos del escáner precisa de programas adecuados a la finalidad del trabajo. Dichos programas pueden no ser proporcionados todos ellos por el fabricante del escáner (Boehler, 2004: 292). Un programa de escaneado 3D se compone de módulos que comprende desde el control del escáner, hasta el tratamiento de la nube de datos, la extracción de primitivas, la creación de modelos de superficie, el texturizado y la obtención de productos cartográficos (ortofotografías). La calidad del modelo 2D/3D final y el tiempo invertido en la obtención del mismo depende en gran medida de la implementación seguida en cada módulo. Los resultados finales después de la transformación de los datos brutos pueden ser dibujos, modelos CAD, modelos 3D (con texturas artificiales o fotorealísticas) o animaciones de vídeo. Sin embargo, el potencial del escaneado láser no solo se encuentra en los productos derivados sino más bien en la aplicabilidad del mismo para abordar satisfactoriamente documentaciones o cartografiados que anteriormente resultaban excesivamente costosos o prácticamente inabordables.

## 3. Caso de estudio

La Cova del Parpalló es uno de los yacimientos paleolíticos más importantes a nivel internacional, formando parte del conjunto del arte rupestre del arco mediterráneo de la Península Ibérica declarado Patrimonio Mundial por la UNESCO en 1998. La cueva está situada en las laderas del Montdúver dentro de los límites del Paraje Natural Municipal Parpalló-Borrell y se localiza en el término municipal de Gandia en la provincia de Valencia (Fig. 1).

El acceso a la cueva es a través de una abertura de aproximadamente 14 m de alto por 3 m de ancho por la que se desciende unos 3,5 m para llegar a la estancia principal de planta irregular de 12 x 4 metros y altura 17 m. A la izquierda ascendiendo unos 5 m de altura por una colada estalagmítica se accede a una galería orientada al oeste con diferentes niveles y estancias.

El yacimiento se conoce desde mediados del siglo XIX, pero no fue hasta 1929 cuando se iniciaron las excavaciones dirigidas por Luis Pericot que durante tres campañas ofrecieron resultados de tal índole que cambiaron la visión que se tenía sobre el Paleolítico Superior, encontrándose representados los tres estadios del mismo. La potencia del estrato fue de 9,50 m, pero sólo a partir de los 8,50 m de profundidad comienzan los hallazgos de índole arqueológica (Mas, 1973: 185). Sus más de

5600 plaquetas grabadas y pintadas, interestratificadas en una secuencia continua que abarca un periodo de más de 10.000 años, constituye un referente obligado a la hora de adscribir cronológicamente el arte rupestre europeo (Generalitat Valenciana, 1999). La colección de plaquetas fue estudiada en detalle por Villaverde (1994). A estos restos se suma el arte parietal hallado más recientemente en la cueva de Parpalló con grabados y pinturas sobre las paredes.



Figura 1. Fotografía de la entrada a la Cova del Parpalló

Según Villaverde, es importante observar que el arte mobiliario más temprano conocido en la España mediterránea está asociado a las ocupaciones Gravetienses de Parpalló y Malladetes. En ambos sitios se encontraron un número limitado pero significativo de plaquetas de piedra caliza pintadas y grabadas con imágenes zoomórficas o, más raramente, abstractas. Estos diseños ejemplifican los estilos que se asocian tradicionalmente a fases muy tempranas del arte Paleolítico Superior (Villaverde, 1998: 153).

## 4. Planificación y captura de datos

Los emplazamientos del escáner deben escogerse de manera que se garantice el máxima cobertura 3D del objeto, evitando la aparición de sombras. Asimismo, debe prefijarse con antelación y en función de la misión la resolución adecuada y la precisión requerida en el proceso de digitalización (Lerma, 2008: 43).

En este levantamiento se optó por un escáner láser de diferencia de fase. El alcance máximo del equipo utilizado fue de 70 m, con un campo angular de 360° (horizontal) y 320° (vertical), más que suficiente para los requerimientos de partida. La Figura 1 muestra una imagen panorámica de la nube de puntos 3D capturados en un escaneado.

Se efectuaron un total de dieciséis escaneados desde catorce emplazamientos. En concreto se hicieron dos escaneos para el levantamiento del exterior de la cueva, cinco escaneos para el levantamiento de la cavidad principal y otros siete barridos para realizar el levantamiento de la galería orientada al oeste (Fig. 2). Adicionalmente se realizaron dos escaneados a mayor resolución en la zona donde se encuentra situado el grabado rupestre. El volumen de datos crudos láser ascendió aproximadamente a 123 millones de puntos.



Figura 2. Imagen panorámica de la nube de datos láser de la galería orientada al oeste. Los círculos blancos se corresponden con esferas

El levantamiento láser se complementó con una captura fotográfica completa de la cueva. Dichas imágenes se utilizaron para dotar de textura al modelo 3D, así como para rellenar espacios no cubiertos en la fase de digitalización.

Se requirió iluminación artificial mediante un juego de focos halógenos y sombrillas en el interior de la galería. También se precisó un andamio que permitiese reducir las sombras en las partes superiores de la cueva.

La Figura 3 muestra el resultado de combinar múltiples escaneados en la cavidad principal de la cueva situada próxima a la entrada.

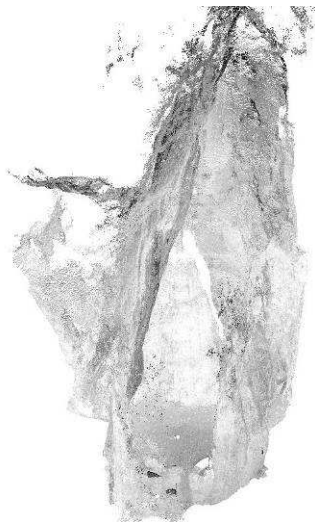


Figura 3. Vista en perspectiva de la nube de datos láser. Barrido de datos láser perteneciente a la Cavidad Principal

## 5. Procesado del modelo

El registro de los diferentes escaneados permite la alineación de los distintos sistemas de coordenadas objeto XYZ locales a un único sistema de referencia común. Para ello se situaron esferas con las que fue posible realizar un ajuste de todos los barridos.

Una vez que se dispuso de la nube de puntos registrada se procedió a orientar el modelo con respecto al norte geográfico, y

a trasladarlo a las coordenadas (100, 100, 0), con el fin de facilitar la lectura y la generación de planos.

El siguiente paso aborda la eliminación o exclusión manual de los datos capturados que no forman parte de la documentación propiamente dicha, como son el andamio utilizado en la toma de datos, la vegetación, etc.

A continuación, se eliminaron redundancias y se redujo el ruido del escáner mediante filtros específicos lanzados mediante procesos por lotes.

El penúltimo paso consistió en la generación del mallado propiamente dicha de la nube de datos láser 3D. La nube de puntos filtrada se fraccionó en niveles de metro y medio de altura y se trianguló por separado. Tras la triangulación, se eliminaron los errores topológicos existentes, como son los triángulos que se cruzan. El registro inicial se optimizó con el método ICP (*Iterative Closest Point*).

A continuación también se redujo el número de zonas ocultas. Finalmente se generaron dos modelos, uno de la totalidad de la cueva (compuesto por 7 millones y medio de triángulos), y otro de alta resolución de la zona del grabado rupestre (formado por un millón de triángulos). La figura 4 muestra un sector de la cueva a resolución media; este modelo también sirvió de base para proyectar la textura en la Fig. 5.

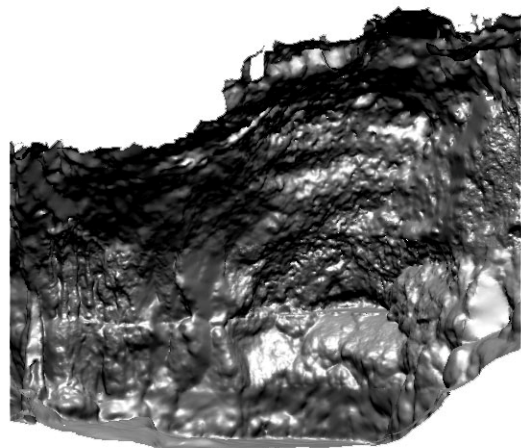


Figura 4. Detalle en perspectiva del modelo 3D

## 6. Modelo 3D con textura

La etapa de texturización requiere de imágenes y de modelos digitales. Algunos programas superponen la textura al modelo a partir de la medición de cuatro puntos homólogos imagen-modelo. Esta metodología es sencilla y no requiere grandes recursos del sistema, siendo los resultados obtenidos de calidad reducida o media, en función de la topografía del objeto.

La otra alternativa consiste en proyectar la imagen digital al modelo digital. Para ello, se requieren los parámetros de orientación externa de las fotografías y aplicar algoritmos de visibilidad. Para cada triángulo se selecciona automáticamente la porción de la imagen que mejor se proyecta, utilizando la técnica de análisis de visibilidad. En concreto, el programa empleado en

los trabajos de texturización fotogramétrica es el FotograUPV, desarrollado e implementado por los miembros del Grupo de Investigación en Fotogrametría y Láser Escáner (GIFLE) de la Universidad Politécnica de Valencia. Dicho programa incorpora la tecnología ZI-Buffer (Biosca, 2007: 6) para resolver los problemas comunes derivados de la texturización. La figura 5 muestra un detalle de la proyección de múltiples imágenes digitales (en este caso tres) al modelo digital previamente generado.



Figura 5. Vista en perspectiva del modelo texturizado

## 7. Visualización multimedia

Una de las grandes ventajas de contar con el modelo 3D de un objeto es la posibilidad de visualizar, analizar y extraer fácilmente información adicional particularizada 2D y 3D. Para ello se ha creado una herramienta informática capaz de cubrir estas tareas.

A través de dicha herramienta se puede navegar alrededor del modelo 3D de un modo virtual e interactivo. De este modo, el usuario puede sentirse inmerso dentro de un mundo virtual que es fiel reflejo de la realidad sin la necesidad de encontrarse físicamente en la ubicación original. Cabe destacar la ventaja que brinda un manejo sencillo e intuitivo por parte del usuario, que le permita seleccionar, visualizar y reconstruir desde cualquier punto de vista el área objeto de estudio.

Una cualidad interesante que ofrecen las herramientas multimedia es la generación de animaciones virtuales y/o vídeos que recorren el modelo fotorrealístico a partir de una trayectoria marcada previamente por el usuario. Específicamente, solo se han de indicar las posiciones que definan la trayectoria que ha de seguir la cámara virtual al realizar el vídeo, la dirección de la vertical de la cámara en cada una de las posiciones, el punto al que apunta la cámara, el tipo de proyección, o la velocidad con la que la cámara virtual ha de moverse de una posición a la siguiente.

Con procedimientos como los descritos en el apartado anterior pueden generarse animaciones virtuales que presenten modelos

## Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por el Instituto Valenciano de Conservación y Restauración de Bienes Culturales de la Comunidad Valenciana. Los autores agradecen la colaboración inestimable prestada por M<sup>a</sup> del Carmen Pérez, Rafael Martínez, Joan Cardona y Vicente Bayarri.

3D fotorrealísticos de objetos reales como pueden ser monumentos históricos, edificios emblemáticos, esculturas, yacimientos o sitios arqueológicos, etc.

Con respecto a la Cova del Parpalló, la herramienta desarrollada por GIFLE permite extraer información del modelo fotorrealístico generado. Por un lado, imágenes virtuales reconstruidas del modelo. Por otro, animaciones virtuales que integren al espectador dentro de la propia cueva (Fig. 6).

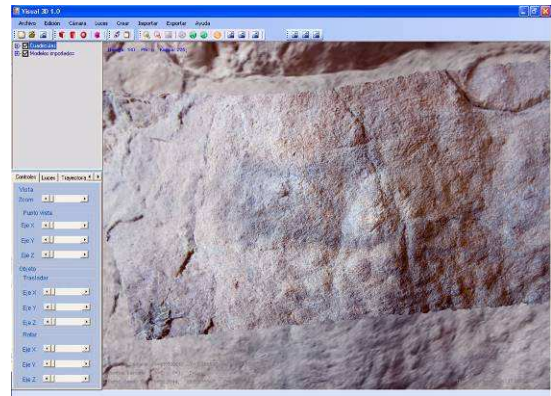


Figura 6. Detalle del modelo texturizado en el entorno de visualización propio apuntando al grabado paleolítico

## 8. Conclusión

La combinación efectiva del escaneado láser terrestre y de la fotogrametría terrestre garantiza una solución acertada a la hora de generar modelos fotorrealísticos 3D de calidad, independientemente de la complejidad del escenario. Los modelos 3D generados pueden utilizarse en fines muy diversos, entre los que encontramos, por un lado, la documentación métrica del patrimonio cultural, y por otro, la generación de productos multimedia.

Este estudio constata la complementariedad de ambas soluciones más que la rivalidad de las mismas para completar satisfactoriamente el mismo fin de la documentación patrimonial. No obstante, ello no implica que siempre deban utilizarse simultáneamente ambas tecnologías. En cualquier caso, los resultados alcanzados en el presente estudio reflejan la madurez presente en el estado de la cuestión, lejos de los productos derivados de los trabajos de levantamiento tradicional.

## Bibliografia

- ALSHAWABKEH, Yahya et al. (2004): "Laser scanning and photogrammetry: A Hybrid approach for heritage documentation", en *3rd International Conference on Science & Technology in Archeology & Conservation*. Amman. Jordania.
- BIOSCA TARONGER, Josep Miquel et al. (2007): "Modelado tridimensional de una bóveda barroca mediante la combinación de láser escáner y fotogrametría", en *7 Setmana Geomàtica*, Febrero 20-23. Barcelona.
- BOEHLER, W. et al. (2004): "3D scanning and photogrammetry for heritage recording: A comparison", en *12th International Conference on Geoinformatics - Geospatial Information Research: Bridging the Pacific and Atlantic*, Universidad de Gävle, Suecia, Junio 7-9, pp. 291-298.
- GENERALITAT VALENCIANA (1999): *Arte rupestre del arco mediterráneo de la Península Ibérica. Patrimonio de la humanidad. Comunidad Valenciana*. Servicio Patrimonio Arqueológico, Etnológico e Histórico. Consellería de Cultura, Educació i Ciència.
- LERMA GARCÍA, José Luis et al. (2008): *3D RiskMapping. Theory and practice on terrestrial laser scanning. Training material based on practical applications*. Universidad Politécnica de Valencia: Valencia.
- MAS, Manuel (1973): *Gran Enciclopedia de la Región Valenciana*. Valencia. Tomo VIII, pp. 185.
- VILLAVERDE BONILLA, Valentín (1994): *Arte Paleolítico de la Cova del Parpalló. Estudio de la colección de plaquetas y cantos con grabados y pinturas*. Valencia.
- VILLAVERDE, Valentín et al. (1998): "The Upper Paleolithic in Mediterranean Spain: A Review of Current Evidence", en *Journal of World Prehistory*, Vol. 12, No. 2, pp. 121-198, Junio.